

二重落し込み板壁構法の提案と 水平加力試験

PROPOSAL OF STRUCTURAL SYSTEM OF DOUBLE WOOD SIDING WALL AND HORIZONTAL LOADING TEST

中園真人 —*1 富士尚俊 —*2
岩田真次 —*3 盆子原和也 —*4
稲井栄一 —*5 村上ひとみ —*6

Mahito NAKAZONO —*1 Naotoshi FUJII —*2
Shinji IWATA —*3 Kazuya BONKOBARA —*4
Eiichi INAI —*5 Hitomi MURAKAMI —*6

キーワード：
二重落し込み板壁, 水平加力試験, 初期剛性, 壁倍率

Keywords:
Double wood siding wall, Horizontal loading test, Initial stiffness, Wall magnification

The authors have developed wooden shear wall constituted by double wood siding board made by foothold boards. This new system can secure the insulation and air humidity control performance. It has been proven that the wall has endurance for practical use by horizontal loading test. As a result, the initial stiffness of test specimen with dowel has indicated high value, and wall magnification also has indicated twice or more value compared with the notification, so the practicality of this system has been confirmed.

1. 序論

木造耐力壁の種類は、伝統構法の貫を入れた土壁から、戦後の法改正に伴い大きく変化し^{注1)}、現在では筋交いや構造用合板などでせん断抵抗を高めた剛性の高い耐力壁を採用し、梁、土台等の横架材と柱は金物で接合する方法が主流である。しかし、金物による接合は木材のめり込みによって緩みが生じ、繰返し加力に対する復元力を低下させる懸念がある。

これに対し、最近では金物を用いない伝統構法が見直され、社寺建築に用いられてきた落し込み板壁を住宅の耐力壁として活用する事例が増加しており、落し込み板壁による「民家型構法の家」^{注2)文1)}、杉の厚板に構造耐力をもたせ、併せて断熱及び調湿を図る「板倉の家」^{注3)文2)}、足場板を利用したSBハウス^{注4)文3)}等の開発が行われている。

しかし、既往の落し込み板壁の水平加力試験結果^{文4)}によれば、いずれの試験体も終局変形角 1/15rad に達しても明確な破壊は起こらず、粘り強さを有す結果が得られているものの、試験体 19 体の内壁倍率が 1.0 を超えたものは、試験体の板同士及び横架材と板の接合部にダボをいれた試験体、加えて試験体の両側に通しボルトを貫通させた 2 体のみ(最大で 1.45 倍)であり、その他の試験体の壁倍率は 0.10~0.97 程度であった。この結果から国土交通省告示^{文5)}で定められた落し込み板壁仕様の壁倍率は 0.6 と定められ、構造設計上は主たる耐力壁としては採用できないのが現状である。

一方、最近では改良を加えた落し込み板壁の耐力性能を実験的に検討する試みが増加しており、国土交通省によって定められた壁倍率 0.6 を上回る実験結果が報告されている。壁面に対し水平方向に板の継目 1 段当たりのダボの本数を増やすと、壁倍率は 1.66~1.81

文6)まで上昇し、ダボを通し材にして板壁と軸組部を一体化すると、壁倍率は 3.8~4.5 に達する結果^{文7)}等が得られている。

2. 二重落し込み板壁の提案

従来の落し込み板壁が柱面の中心に 1 枚の厚板を落し込む真壁構法であるのに対し、本論では、柱間に二枚の杉足場板を柱の外面に合わせて落し込む、二重落し込み板による木造耐力壁を提案する。図 1 に板壁の姿図を示すが、この新構法は以下の基本的特徴を有す。①現在軸組部材として多用されている杉は柔らかいため、筋交い、構造用合板などの剛性の高い耐力部材を用いれば、柱頭、柱脚部接合部に応力が集中し軸組材にめり込みが生じ、耐力低下の原因とな

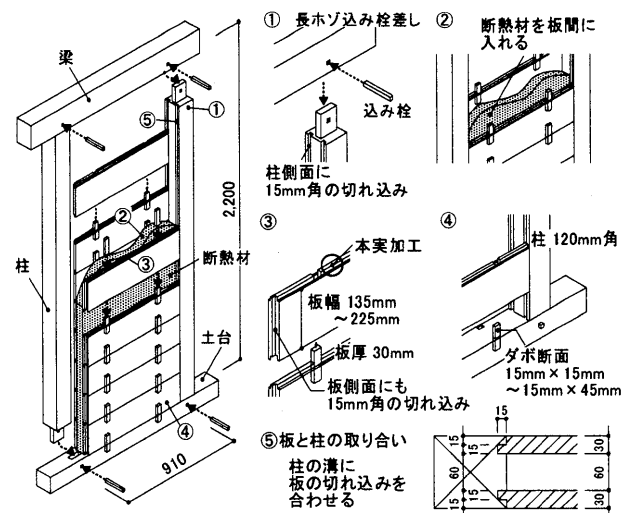


図1 二重落し込み板壁構法姿図および特徴

*1 山口大学工学部感性デザイン工学科 教授・工博
(〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1)
*2 ㈱異設計コンサルタント
*3 山口大学大学院理工学研究科 博士後期課程・工修
*4 山口大学大学院理工学研究科 博士前期課程
*5 山口大学工学部感性デザイン工学科 助教授・工博
*6 山口大学工学部知能情報システム工学科 助教授・工博

*1 Prof., Dept. of Perceptual Science and Design Eng., Faculty of Eng., Yamaguchi Univ., Dr. Eng.
*2 Tatsumi Design Consultant Co. Ltd.
*3 Doctoral Course, Graduate School of Science and Eng., Yamaguchi Univ., M. Eng.
*4 Graduate Student, Graduate School of Science and Design Eng., Yamaguchi Univ.
*5 Assoc. Prof., Dept. of Perceptual Science and Design Eng., Faculty of Eng., Yamaguchi Univ., Dr. Eng.
*6 Prof., Dept. of Computer Science and Systems Eng., Faculty of Eng., Yamaguchi Univ., Dr. Eng.

表1 試験体の仕様リスト

名称	板幅 (mm)	板厚 (mm)	板の 枚数	ダボ			込栓		間柱	
				断面寸法(mm×mm)	長さ(mm)	本数	断面寸法(mm×mm)	寸法(mm)	本数	
No.1	235	30	20	なし			柱脚8×18		なし	
No.2	235	30	20	15×30	120	2	柱脚8×18		なし	
				15×30(横架材との接合部)	120	4				
No.3	235	30	20	15×30	120	4	柱脚8×18		なし	
No.4	235	30	20	15×15	120	4	柱脚8×18	60×78	3	
				15×30(横架材との接合部)	120	4	間柱5×15			
No.5	235	30	20	15×15	120	4	柱脚8×18	60×78	2	
				15×30(横架材との接合部)	120	4	間柱、押さえ板5×15			

表2 試験体の部材概要

名称	材種	含水率(%)	ヤング係数(kN/mm ²)	比重
柱	スギ	21.2	7.49	0.41
梁	ベイマツ	13.6	10.80	0.58
土台	スギ	19.2	7.31	0.37
壁板	スギ	14.4	6.81	0.37
ダボ	ケヤキ	—	—	—

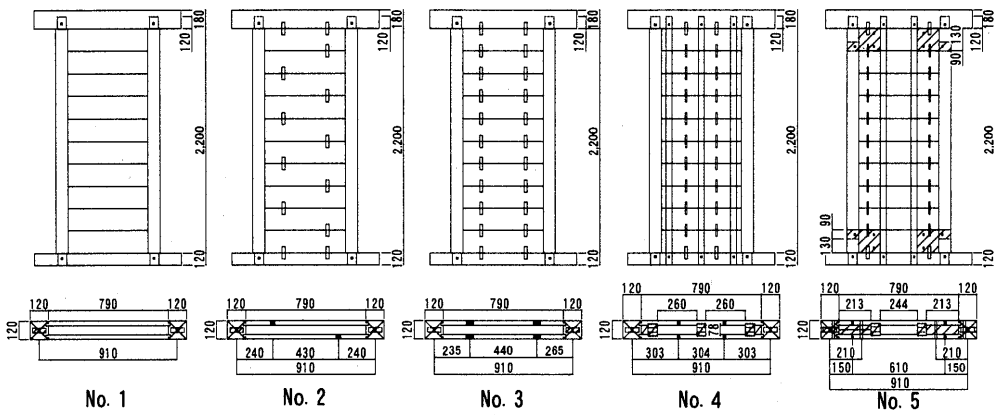


図2 各試験体図面(上段:立面図 下段:平面図)

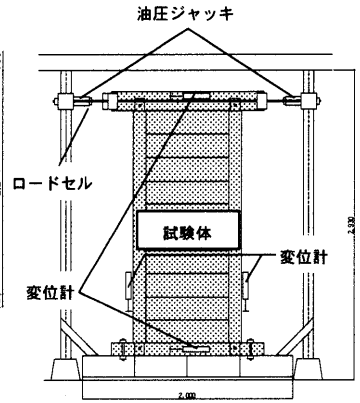


図3 実験装置

る。従来の1枚の落とし込み板よりも薄い板幅(30mm)ではあるが、二重にすることで、変形性能に優れる落とし込み板壁の特徴を失わず、柱頭、柱脚部接合部への応力集中を抑制する。②落とし込み板壁の剛性、耐力はダボによる効果が非常に大きいため、板を二重にして抵抗要素のダボの本数を増やすことにより、耐力・剛性が確保される。③上下横架材と板壁間にダボを打ち込むことにより、初期すべり変形を防止し、初期剛性を高める。④二枚の壁板間(60mm)に断熱材を挿入し、杉板と併わせて断熱及び調湿性能を確保できる。⑤柱との面合わせにより、下地ボード類・胴縁の施工が容易となる他、室内側の木板仕上げ材としてそのまま活用できる。

以上の特徴を備えた提案構法が、実用に耐え得る耐力、剛性を有することが実証されれば、本構法のみで耐力壁を構成することが可能となり、構造・断熱・仕上げ材の機能を兼ね備えた壁材として使用できるものと期待される。そこで本論では、実大試験体による水平加力試験結果をもとに、提案する二重落とし込み板壁の耐力・変形性能及び復元力特性に関し報告する。

3. 二重落とし込み板壁の水平加力試験

3.1 試験体

表1に各試験体の仕様、図2に各試験体の立面図、断面図、表2に各部材の概要を示す。試験体は板間および板と上下横架材間をダボで止めた実用的なNo.2、No.3を基本とする。これに、軸組部と落とし込み板を拘束しないNo.1、柱間に3本の間柱を入れ、長ホゾ差し込栓により横架材間の緊結補強を行ったNo.4、柱側面のホゾ穴へ差し込んだ押さえ板を介して柱と板壁に込栓を打ち込み、柱頭・柱脚隅部の補強を行ったNo.5の計5体である。なお、いずれの試験体も幅1500mm、高さ2500mmで、柱間、横架材間は芯々でそれぞれ910mm、2450mmである。軸組部の柱、土台は120mm×120mmのスギ、梁は120mm×180mmのベイマツを用いた。また壁板は30mm

×225mmのスギを用い、表・裏ともに10枚ずつ計20枚を軸組部に1枚ずつ落とし込んでいる。また、本構法ではダボの断面寸法は幅15mm×長さ15、30、45mmの3種類を想定しているが、本実験では幅15mm×長さ15、30mmの2種類を用いている。

3.2 実験装置

図3に実験装置を示す。本実験は「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」^{*)}の耐力壁の面内せん断試験方法に準拠して、試験体の柱脚部を加力装置に緊結する柱脚固定式で行った。反力フレームに試験体をボルトで固定し、加力部には反力フレームに取付けたP C鋼棒を介してジャッキとロードセルを固定した。

3.3 実験方法

本実験は耐力壁の壁倍率評価の標準試験方法^{*)}に従い、以下の方法で行った。①加力方法は正負交番漸増繰り返し加力とし、繰り返し履歴は見かけのせん断変形角が1/600、1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50radの正負変形時に行う。ここで、見かけのせん断変形角は梁材の水平方向変位から土台の水平方向変位を減じ、これを変位計間距離で除したものである。②繰り返し加力は履歴の同一変形段階で3回の繰り返し加力を行う。③最大荷重に達した後、最大荷重の80%の荷重に低下するか、試験体の見かけの変形角が1/15rad以上に達するまで加力する。なお、見かけの変形角が1/15radを超えても最大荷重の80%まで荷重が低下しない場合には、見かけの変形角1/15radを終局変形角とし、その時の荷重を最大荷重として扱う。

4. 実験結果

4.1 荷重一見かけのせん断変形角

各試験体の荷重と見かけのせん断変形角の関係を図4に示す。

No.1は1/15radに達しても荷重は一定の上昇を見せるが、剛性は他の試験体と比べて低い。最も高い初期剛性を示したのはNo.3の780.0(kN/rad)で、No.3以外のダボを使用した試験体の初期剛性は556.9~576.1(kN/rad)の範囲にあるため、横架材間の補強・柱脚部の補強は剛性にほとんど影響がないものと考えられる。しかし、ダボのみを使用したNo.2及びNo.3は、いずれも1/30rad前後で同程度の最大荷重(No.2:7.3kN、No.3:6.9kN)に達し、1/15radに達するまでに最大荷重の80%を下回ったが、横架材間の補強をしたNo.4及び柱脚部を補強したNo.5は、1/20radを超えたところで、最大荷重(No.4:9.36kN、No.5:9.35kN)に達している。

4.2 破壊性状

図5に変形角時における柱の浮き上がり量を示す。いずれの試験体も板相互のずれはあったものの、終局変形角において、壁板及びダボに損傷は見られなかった。また、剛性の低いNo.1は柱の浮き上がり量はその他の試験体のおよそ2/9程度で、1/15radに達しても24.7mmであり、柱脚部込栓の破壊は生じていない。その他の試験体は、1/150radを超えると柱脚部の長ホゾのめり込み及び込栓の曲げ破壊により浮き上がり量が急増し、No.3は1/30rad~1/15rad間で最も高い浮き上がり量67.9mmを示した。

4.3 壁倍率の算定

実験結果に基づく各試験体の壁倍率を次式^{*)}より算定した。

$$\text{壁倍率} = Pa \times (1/1.96) \times (1/L) \dots \dots \dots (1)$$

但し、Pa: 短期許容せん断力(kN)^{注5)}

L: 壁の長さ(m)

また、Paの算定における短期基準せん断力Poはmin(①降伏耐力Py、②特定変形時の耐力P120、局耐力Pu×0.2√2μ-1、④最大耐力Pmax)として求めた。なお降伏耐力Py、終局耐力Pu及び初期剛性Kは、完全弾塑性モデル^{*)}を用いて導いた。

壁倍率の算定結果を表3に示す。試験体No.1は①項、試験体No.2、No.5は③項、試験体No.3、No.4は②項でPoが決定されている。壁倍率の値は、ダボ、間柱など軸組及び落とし込み板壁相互に拘束部材の多い試験体、すなわちNo.5~No.1の順に大きい値を示し、告示で定められた壁倍率0.6に対し、No.2は1.5、No.3は1.9と2-3倍の倍率である。また横架材間を補強したNo.4の壁倍率は2.2、柱脚部を補強したNo.5の場合は2.3と、軸組部を補強した場合にはより高い壁倍率が得られた。

4.4 二重落しこみ板壁の復元力特性

図6の割線剛性と各変形角の関係で、初期変形時ではNo.3が最も高い剛性1408.3kN/radを示し、同じダボのみを入れた試験体No.2のおよそ1.2倍の剛性を有している。また、変形が進むにつれ剛性は低下し、1/50radにおいてNo.1以外はほぼ同じ剛性を示した。特に1/150radまでの各変形角間の剛性低下率は、ダボを入れたNo.2及びNo.3は17~22%で、補強を行ったNo.4及びNo.5の9~13%よりも大きい。地震エネルギー吸収率の比は試験体No.3が最大値1.83を示し、No.3が最も強さと粘りを兼ね備えられた仕様であることが確認された。また、各試験体の荷重-変形角履歴曲線(図9)見ると、試験体No.1を除く、ダボを挿入した試験体No.2およびNo.3は

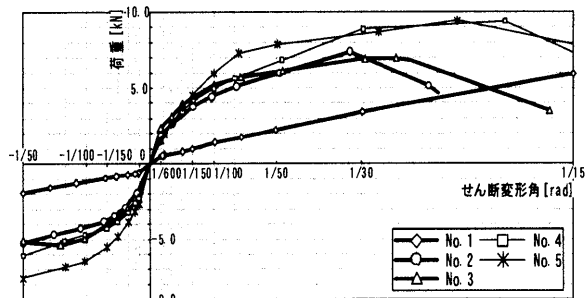


図4 荷重-見かけのせん断変形角骨格曲線

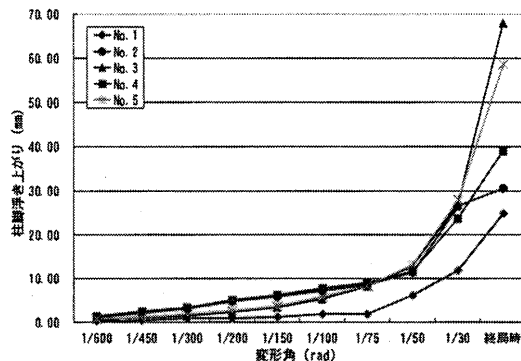


図5 柱の浮き上がり量-変形角関係

表3 壁倍率の算定結果

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
最大耐力 Pmax(kN)	5.88	7.37	6.97	9.36	9.35
初期剛性 K(kN/rad)	107.70	566.90	780.00	576.10	573.80
①1/120rad時 P120(kN)	1.18	4.10	4.79	4.53	5.21
②降伏耐力 Py(kN)	2.75	3.71	3.85	4.37	6.49
③塑性率μと終局耐力Puによる 0.2√(2μ-1)×Pu	2.02	3.12	4.12	4.60	4.74
④最大耐力の2/3 Pmax(kN)×2/3	3.92	4.91	4.65	6.24	6.23
許容せん断耐力 Pa(kN)=min(①,②,③,④)×α	1.06	2.81	3.47	3.93	4.27
壁倍率 (倍)	0.59	1.56	1.94	2.21	2.39

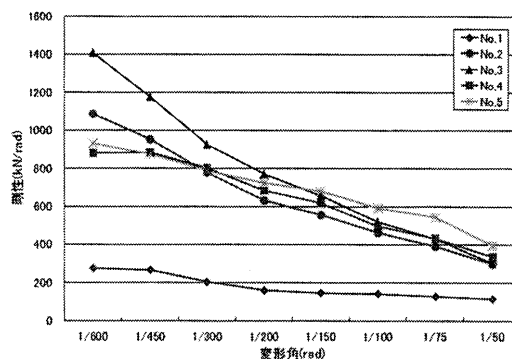


図6 各試験体の割線剛性-各変形角履歴曲線

表4 各試験体の塑性率およびエネルギー吸収率の比^{*)}

	δv (rad)	δu (rad)	μ	Ds	μ・Ds
No.1	0.047	0.067	1.43	0.73	1.05
No.2	0.011	0.040	3.64	0.40	1.45
No.3	0.008	0.049	6.13	0.30	1.83
No.4	0.014	0.066	4.71	0.34	1.62
No.5	0.015	0.067	4.47	0.35	1.59

δv: 完全弾塑性モデルの降伏変形角 μ: 塑性率 (=δu/δv)
 δu: 完全弾塑性モデルの終局変形角 Ds: 構造特性係数 (=1/√(2μ-1))
 μ・Ds: 地震エネルギー吸収率

いずれも明確な弾塑性型の復元力特性を示した。

5. 二重落し込み板壁の解析

5.1 水平荷重-せん断変形角モデル

落し込み二重板壁として実用的仕様の No.2, No.3 の実験結果から、水平荷重-せん断変形角の解析モデルを示す。

落し込み板壁の剛性・耐力の発現メカニズムおよび設計式に関しては、稲山正弘氏により、落し込み板壁の面内せん断変形角は、以下の6つの要因から生じているとしている²⁴⁾。

R のせん断変形角

- =①板と軸材間のすき間による初期すべり変形角
- +②板相互のずれ(ダボと摩擦で抵抗)による変形角
- +③板のせん断変形角
- +④板の圧縮筋かいゾーンの縮みによる変形角
- +⑤板端部の柱へのめり込みによる変形角
- +⑥板端部の横架材へのめり込みによる変形角

ここで、真のせん断変形角とは、見かけのせん断変形角から脚部の変形によるせん断変形角を引いたものである。このせん断変形角は柱脚部の鉛直方向変位からもう一方の柱脚部の鉛直方向変位を減じ、これを変位計間距離で除した値である²⁴⁾。

また、落し込み板壁の面内せん断耐力が降伏に至る降伏点は以下の要因で決まるとされている。

$$P_y = \min[\text{①ダボが降伏するときの耐力, ②板の圧縮筋かいゾーンの上下端部領域が全塑性圧縮に達するときの耐力}]$$

つまり落し込み板壁は板と横架材の内側にはめ込まれた板壁が圧縮筋かいの様に抵抗する耐力壁である(図7)。ダボがない場合には抵抗力を発揮しない。ダボを有す場合には、初期は板壁と柱及び上部横架材との隙間にスリップ変形が生じ、内法の対角部分が軸組部に当たると圧縮筋かいとして働き始める。さらに板全体が圧縮筋かいとして作用する場合のせん断変形角は、上記②と④の成分が全体の9割を占め、③、⑤、⑥の成分による変形角は全体の1割以下のため、無視して扱っても剛性評価にさほど影響はないとされる。

以上の要素に加え、本実験の落し込み二重板壁では以下の3点を考慮する必要がある。

(1)二重落し込み板壁の変形には、柱脚部の浮き上がり量を考慮し、長ホゾ込栓の変形も考慮する必要がある。よって、二重落し込み板壁の面内せん断変形角は、上記6要素に加え、柱脚部長ホゾのめり込み変形による変形角の計7要素から成立すると仮定する。また、各抵抗要素の剛性は、壁板1段当りの抵抗要素が2倍に増加するため、各抵抗要素の剛性を2倍して算定した。これに長ホゾのめり込み変形による剛性 K_6 を加えた各抵抗要素の剛性算定式を付録1)に示す。

(2)落し込み板壁は変形が進むにつれ、各変形段階において抵抗し始める各抵抗要素が異なる。試験体 No.1 はダボが無い場合、クリアランスによる初期変形時には、柱脚部長ホゾのめり込み変形による抵抗のみと考えられる。さらに変形が進み板の内法の対角部分が軸組部に当たっても板同士がずれるので、板の圧縮筋かいによる抵抗と長ホゾのめり込み変形による抵抗のみと考えられる。また、ダボがある試験体 No.2 および No.3 は、板同士だけでなく板と上下横架材の接合部にもダボを打ち込んでいるため、クリアランスによる

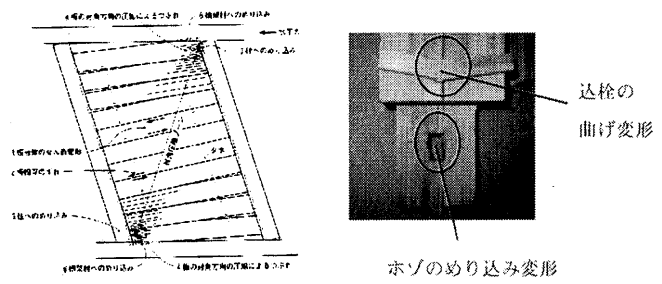


図7 落し込み板壁の水平力に対する抵抗と変形メカニズム²⁴⁾ 写真 試験体解体後の長ホゾ込栓の変形状況

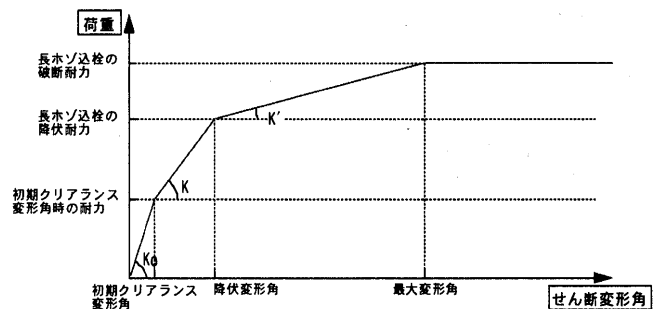


図8 二重落し込み板壁の水平荷重-せん断変形角モデル

初期変形時にもダボと長ホゾのめり込み変形によって抵抗しているものと考えられる。各変形段階における剛性を、ダボの有無により区分し付録2)に示す。

(3)終局時にはダボ及び板に損傷は見られず、降伏耐力・最大耐力は全て柱脚部長ホゾ込栓の降伏と破断によって決定されている。さらに、長ホゾ込栓の変形は写真に示した試験体解体後の変形状から、込栓の曲げによる変形と長ホゾのめり込みによる変形が同時に起こり、長ホゾ込栓の引張耐力はこれら2つの変形によって決まるものと考えられる。そこで、降伏耐力は長ホゾ込栓の引張で決まる耐力 P_{yz} を加え、最大耐力 P_{max} は長ホゾ込栓の破壊耐力で決定するものと仮定した。付録3)に算定式を示す。

以上の変形メカニズムを仮定した、二重落し込み板壁の水平荷重-せん断変形角モデルを図8に示す。

5.2 解析結果

表6に剛性・耐力の算定結果および壁倍率の算定結果、図9に実験値と計算値の比較グラフを示す。繊維方向ヤング係数 E_{\parallel} は、試験体の柱・梁・土台・板に曲げ試験の試験結果より算出し、繊維直交方向ヤング係数 E_{\perp} は $E_{\parallel}/50$ として算出した。さらに、ダボ1本の降伏耐力 ΔP_{yd} およびダボ1本のせん断剛性 kd は、ダボを上下の杉板に60mmずつ打ち込んだ1面せん断として、「木質構造設計基準・同解説」²⁵⁾のボルト接合の算定式(6.9)、および解説に記されているすべり剛性 k_s の算定式を用いて算出した。

表6の剛性・耐力の算定結果をみると、 $K1 \sim K6$ の6つの剛性要素のうち、板のせん断剛性 $K2$ が最も高い値を示し、次いで板木口の柱へのめり込み剛性 $K4$ となっている。これら2つの剛性要素は他の剛性要素よりもはるかに高く、二重落し込み板壁の変形要素はダボがせん断抵抗しながら板相互がずれる変形と、板壁が対角方向に

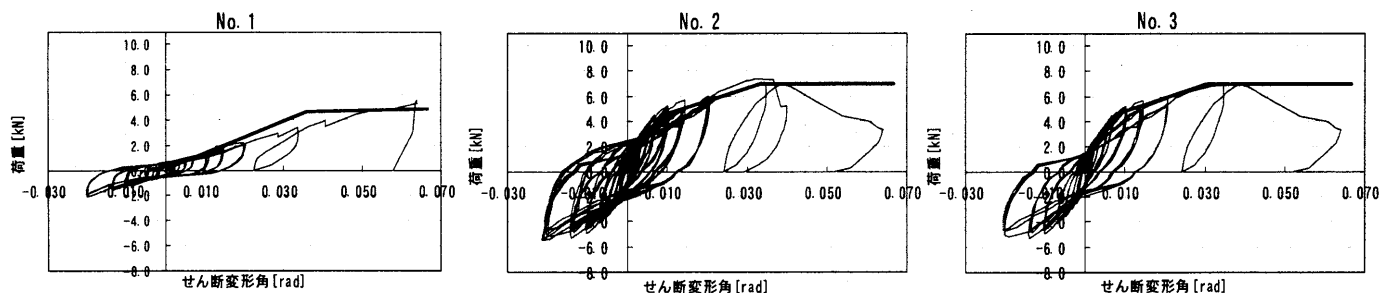


図9 実験値と計算値の比較

表6 剛性・耐力の計算結果

	No.1	No.2	No.3
ダボによるせん断剛性K1(kN/rad)	0.00	2728.35	5456.70
板のせん断剛性K2(kN/rad)	23657.34	23657.34	23657.34
板の圧縮筋かい剛性K3(kN/rad)	1128.07	1128.07	1128.07
板木口の柱へのめり込み剛性K4(kN/rad)	18399.26	18399.26	18399.26
板木口の横架材へのめり込み剛性K5(kN/rad)	2123.75	2123.75	2123.75
長ホゾ込栓のめり込み剛性K6(kN/rad)	1878.85	1878.85	1878.85
初期スリップ変形角時の剛性K α (kN/rad)	208.76	112.64	1397.62
初期剛性K(kN/rad)	125.34	425.04	460.94
降伏変形角時の剛性K'(kN/rad)	12.53	102.00	103.94
初期スリップ変形角時の耐力P α (kN)	0.36	1.90	2.39
ダボのせん断で決まる耐力P γ d(kN)	0.00	10.98	21.76
長ホゾ込栓の引張で決まる耐力P γ z(kN)	4.65	4.65	4.65
対角長さの5%端部領域が全塑性圧縮に至るときの耐力P γ a(kN)	18.41	18.41	18.41
降伏耐力P γ (kN)	4.65	4.65	4.65
1/120rad時の耐力P γ 120(kN(計))	1.19	4.72	4.83
最大耐力Pmax(kN)	6.97	6.97	6.97
許容耐力Pa(kN)	1.19	4.65	4.65
1/120rad時の耐力P γ 120(kN(実))	1.18	4.10	4.79
壁倍率(計算値)	0.60	2.54	2.54
壁倍率(実験値)	0.59	1.56	1.94

圧縮されて縮む変形、板木口が横架材にめり込む変形および柱脚部の長ホゾ込栓の引張による変形の4つが支配的だと言える。中でも、ダボがある場合には長ホゾ込栓の引張による変形が全体の5割〜9割を占めていることが判明した。そのため、降伏耐力 P_y はダボのないNo.1以外、長ホゾ込栓の引張耐力により決定されている。また、1/120rad時の耐力は実験値と比較的に近い値を示し、各試験体における水平荷重一見かけのせん断変形角の履歴曲線と計算値は近似した値を示している。従って、本論で示した水平荷重一せん断変形角モデルにより、二重落し込み板壁の剛性・耐力は概ね説明できるものと考えられる。

6. 結論

本論では、柱間に二枚の杉足場板を柱の外面に合わせて落し込む、二重落し込み板による木造耐力壁構法を提案し、実大試験体による水平加力試験結果をもとに、耐力・変形性能及び復元力特性を示し、荷重とせん断変形角の関係について解析を行った。得られた知見は以下の通りである。

- 1) 最も高い初期剛性を示したのはNo.3の780.0(kN/mm²)で、横架材間の補強及び柱脚部の補強は初期剛性にはほとんど影響が見られない。ダボのみを使用したNo.2及びNo.3はいずれも1/30rad前後で最大荷重(No.2: 7.37kN、No.3: 6.97kN)に達しているが、横架材間の補強をしたNo.4及び柱脚部の補強をしたNo.5は、1/20radを超えたところで最大荷重(No.4: 9.36kN、No.5: 9.35kN)に達しており、補強効果が認められた。

- 2) ダボのみを入れた試験体の二重落し込み板壁の壁倍率は、実験結果から1.56~1.94、解析結果からは2.54と国土交通省の定めた0.6よりも高い値を示した。
- 3) 試験体 No.3 は優れた弾塑性型の復元力特性を示した。また1/200rad までは全試験体中最も高い剛性で、同じダボのみを入れた試験体 No.2 のおよそ1.2 倍の剛性を有している。地震エネルギー吸収率の比も最大値1.83を示し、最も高い剛性と粘りを兼ね備えた仕様であることが確認された。
- 4) 変形要素はダボがせん断抵抗しながら板相互がずれる変形、板壁が対角方向に圧縮されて縮む変形、板木口が横架材にめり込む変形及び柱脚部の長ホゾ込栓の引張による変形が支配的であり、降伏耐力は長ホゾ込栓の引張耐力により決定されている。

なお本実験では各タイプの試験体が1体のみであり、今後試験体数を増やして検証する必要がある。また長期的には、木材の乾燥収縮による板と軸材間の隙間の発生による、初期すべり変形と板相互のずれによる変形の増大が懸念される。降伏耐力は長ホゾ込栓の引張り耐力により決定される可能性が高いため、壁倍率への影響は少ないものと考えられるが、板壁間、板壁と横架材間に生ずる隙間の影響等も含め、長期暴露試験等による検証が望まれる。

今後の実用化に向けての課題として、(1)柱脚部仕口の改良による引張り耐力の向上(2)工場での板壁のパネル加工による、工期短縮とコスト削減、が挙げられる。

注

- 注1) 木造住宅の耐力壁に関しては、①福井地震での被害の教訓をうけて、昭和25年に制定された建築基準法では筋交いが強制され、壁量計算が導入された②昭和34年の施行令改正で筋交いの強制を削除し木摺壁の規定値が3倍に引き上げられた③プレファブや2×4の普及により、合板技術が向上し、昭和64年の施行令改正で面材を用いた壁の仕様が追加された。以上のような改定により、戦後の木造軸組工法住宅の耐力壁の主流は、土壁から筋交い、木摺壁、面材耐力壁へと移行していったものと考えられる。
- 注2) 現代計画研究所と田中文男氏によって開発された「民家型構法の家」の落し込み板壁の特徴は、板同士及び板と横架材をダボで接合し、アンカーボルトと接合された通しボルトを壁板の中に通し、梁上端で固定する方法が用いられている。これにより、壁の剛性が高められ、柱の引き抜きを抑える合理的な構法となっている。
- 注3) 安藤邦廣氏によって提案された「板倉の家」の落し込み板壁の仕様は、厚板を本実加工とし、軸部材に深さ五分の溝を設け落し込み、さらに接合部はホゾ差し込み栓としている。これにより壁としてある程度の気密性と雨仕舞いは確保できるとされている。
- 注4) SBハウスは、120mm角以上の柱や大断面の梁や桁材を使用した真壁工法にスギ板厚さ30mmのSB材にて床、屋根、壁を一體的に覆うことで、耐久性のある構造とされており、特に壁の工法は「厚板入れ込み壁工法」と言われ、地震に対して粘り強い工法とされている。また、SB材は使用方法や品質管理、流通まで一貫してシステム化されており、その利用を促進させる試みがされている。
- 注5) 本実験では、実験装置の制約から、試験体の高さを2.45mとしたため、実験により決定された耐力壁の短期基準せん断力 P_o に $\alpha=0.9(=2.45/2.73)$

を乗じて、短期許容せん断力 Pa を算定した。

参考文献

- 1) 現代計画研究所:「住宅建築別冊—民家型構法の家づくり」, 建築資料研究所, pp. 33~35, 86~91, 2002. 11
- 2) 日影良孝:「ディテール—対称軸組架構の板倉」, 彰国社, pp. 74~79, 1998. 10
- 3) 松永賢司, 佐藤幸好:「住宅建築—ネットワークでつくる木の住まい」, 建築資料研究所, pp. 134~141, 1998. 5
- 4) 稲山正弘他:「建築知識—地震に強い[木造住宅]パーフェクトマニュアル」, (株)エクスマレッジムック, pp. 274~279, 2003. 1
- 5) 土塗壁等告示に係る技術解説書作成編集委員会:「土塗壁・面格子壁・落とし込み板壁の壁倍率に係る技術解説書」: (財)日本住宅・木材技術センター, pp. 34~35, 2004. 12
- 6) 戸田正彦, 平間昭光, 野田康信:北海道産材を用いた落とし込み板壁のせん断性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C1, pp. 433~434, 2004
- 7) 東野正, 大橋一雄, 杉本健一, 西秀志:落とし込み板壁構法耐力壁のせん断性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C1, pp. 435~436, 2004
- 8) (財)日本住宅・木材技術センター:「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」, (財)日本住宅・木材技術センター, 2001. 12
- 9) 日本建築学会:「木質構造設計規準・同解説」, 日本建築学会, 丸善, 2002. 10

付録 2: 二重落とし込み板壁における剛性・耐力算定式

以下の算定式は(財)日本住宅・木材技術センターの実施した実験から、稲山正弘氏によって導かれた式^{*)}に、二重落とし込み板壁の構法を考慮したものである。本実験は柱脚固定式で行い、(財)日本住宅・木材技術センターの実施した実験のタイロッド式とは加力方法が異なるため、稲山氏による各種剛性算定式の適用性に関し、厳密な検討が必要であると思われるが、ここではこれらの算定式を準用して本実験の解析に利用した。ただし、計算値は概ね実験値を追随出来ている。付図に計算式の凡例を示す。

付録 1) 各抵抗要素の剛性算定式

付 1~付 5 の剛性算定式は、1 段当たりの壁板及びダボが 2 倍となることから、稲山式を 2 倍したものである。

・ダボによるせん断剛性 (kN/rad)

$$K1 = 2 \cdot a \cdot nd \cdot kd \quad \dots \dots \dots (付1)$$

・板のせん断剛性 (kN/rad)

$$K2 = 2 \cdot G \cdot L \cdot t \quad \dots \dots \dots (付2)$$

・板の圧縮筋かい剛性 (kN/rad)

$$K3 = \frac{2 \cdot E \theta \cdot L \cdot t}{2 \log(\cos \theta) + 1/\cos^2 \theta} \quad \dots \dots \dots (付3)$$

・板木口の柱へのめり込み剛性 (kN/rad)

$$K4 = \frac{2 \cdot a \cdot H \cdot C_{yc} \cdot E_{\perp b}}{4dc} \quad \dots \dots \dots (付4)$$

・板木口の横架材へのめり込み剛性 (kN/rad)

$$K5 = \frac{2 \cdot L^3 \cdot t \cdot C_{yb} \cdot E_{\perp b}}{15H \cdot db} \quad \dots \dots \dots (付5)$$

これに、柱の浮き上がりを考慮し、長ホソのめり込み剛性 $K6$ を加える。

・長ホソのめり込み剛性

$$K6 = \frac{X^2 \cdot zb \cdot zc \cdot E''c}{Y^2 \cdot za} \quad \dots \dots \dots (付6)$$

$$K = \frac{1}{9} \left\{ 1 / \left(\frac{1}{K3} + \frac{1}{K6} \right) \right\} \quad \dots \dots \dots (付9)$$

ダボがある場合

$$K = 1 / \left(\frac{1}{K1} + \frac{1}{K2} + \frac{1}{K3} + \frac{1}{K4} + \frac{1}{K5} + \frac{1}{K6} \right) \quad \dots \dots \dots (付10)$$

実験結果から、長ホソの降伏時の剛性は降伏前の剛性の 15 分の 1 程度と仮定し、第 3 剛性は第 2 剛性の剛性 $K6$ を 1/15 倍したものである。

付録 3) 降伏耐力および最大耐力

Pyd および Py_a も壁板およびダボが二重のため 2 倍する。

降伏耐力 $Py = \min(Pyd, Py_a)$

・ダボのせん断で決まる耐力

$$Pyd = 2 \cdot nd \cdot \Delta Pyd \cdot \left(1 + \mu \cdot \frac{H}{L} \right) \quad \dots \dots \dots (付 11)$$

・対角長さの 5% 端部領域が全塑性圧縮に至るときの耐力

$$Py_a = \frac{2 \cdot 0.05 \cdot X \cdot t \cdot F\theta}{\sin^2 \theta} \quad \dots \dots \dots (付 12)$$

これに、長ホソ込栓の引張りで決まる耐力 Pyz を加え、 Pyd, Py_a 及び Pyz の最小値を降伏耐力 Py とする。

・長ホソ込栓の引張で決まる耐力

$$Pyz = \frac{2}{3} \left(\frac{za \cdot zb \cdot Fz \cdot X}{Y} + \frac{za \cdot ca \cdot Fz' \cdot X}{Y} \right) \quad \dots \dots \dots (付 13)$$

以下、降伏時の変形角 Ry 、1/120rad 時の P_{120} 、許容耐力 Pa および長ホソ込栓の破壊耐力 $Pmax$ を示す。

・降伏時の変形角 Ry

$$Ry = \frac{(Py - Po)}{K} + Ro \quad \dots \dots \dots (付 14)$$

・1/120rad 時の耐力 P_{120}

$$1/120 < Ry \text{ の場合 } P_{120} = K(1/120 - Ro) + Po \quad \dots \dots \dots (付 15)$$

$$1/120 > Ry \text{ の場合 } P_{120} = K'(1/120 - Ry) + Py \quad \dots \dots \dots (付 16)$$

・許容耐力 $Pa = \min(P_{120}, Py)$ $\dots \dots \dots$ (付 17)

・最大耐力 $Pmax$ = 長ホソ込栓の破壊耐力

$$Pmax = \frac{za \cdot zb \cdot Fz \cdot X}{Y} + \frac{za \cdot zc \cdot Fz' \cdot X}{Y} \quad \dots \dots \dots (付 18)$$

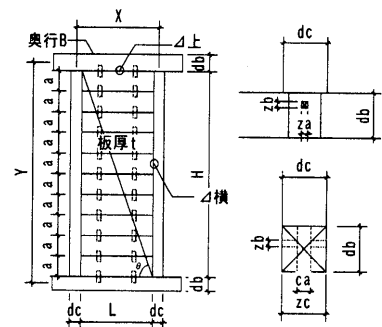
ここで

- * G : 板材のせん断弾性係数 (= 1/15 E'')
- * nd : 繊維直方向の置換係数 (= 5.0 で算定)
- * nd : 板の継目 1 段当たりのダボの本数
- * Fz : 込栓の基準支圧強度 (kN/mm²)
- * Fz' : ホソの基準支圧強度 (kN/mm²)
- * μ : 板同士の摩擦係数
- * Fc : 板材の繊維方向圧縮強度 (kN/mm²)
- * Fc_{\perp} : 板材の繊維垂直方向圧縮強度 (kN/mm²)

$$* \theta = \tan^{-1} \frac{H}{L} \quad * E\theta = \frac{E''}{50 \sin^2 \theta + \cos^2 \theta}$$

$$* C_{yc} = 1 + \frac{4dc}{3nt} \left\{ 1 - e^{-\frac{3n(B-t)}{4dc}} \right\} \quad * C_{yb} = 1 + \frac{4db}{3nt} \left\{ 1 - e^{-\frac{3n(B-t)}{4db}} \right\}$$

$$* F\theta = \frac{Fc \cdot Fc_{\perp}}{Fc \sin^2 \theta + Fc_{\perp} \cos^2 \theta}$$



付図 計算式記号の凡例

[2005年10月20日原稿受理 2006年2月20日採用決定]